

Tahanan ujung (*end bearing*) ultimit secara pendekatan dapat dihitung menggunakan persamaan kapasitas dukung pondasi dangkal.

$$q_u = \frac{Q_b}{A_b} = c_b \cdot N_c + p_b \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

q_u = tahanan ujung per satuan luas tiang (kN/m^2)

Q_b = tahanan ujung ultimit tiang (kN)

A_b = luas penampang bawah tiang (m^2)

c_b = kohesi diujung tiang (kN/m^2)

p_b = $z \cdot \gamma$ = tekanan overburden pada ujung tiang (kN/m^2)

D = diameter tiang (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung tiang (fungsi dari ν)

Dari persamaan (2.2), tahanan ujung ultimit (Q_b) dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Q_b = A_b \cdot [c_b \cdot N_c + p_b \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma] \dots\dots\dots (2.3)$$

Tahanan gesek ultimit dapat menggunakan persamaan menurut Coulumb, yaitu :

$$\tau_d = \frac{Q_s}{A_s} = c_d + \sigma_n \cdot \text{Tg } \varphi_d \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

τ_d = tahanan geser tiang (kN)

c_d = kohesi antara dinding dengan tanah (kN/m²)

σ_n = tegangan normal pada sisi tiang (kN/m²)

φ_d = sudut gesek antara sisi tiang dengan tanah (°)

Besarnya tegangan normal pada sisi tiang (σ_h) atau tegangan horizontal pada tiang (σ_h), tergantung pada koefisien tekanan tanah lateral (k).

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \text{ atau } \sigma_h = k \cdot \sigma_v \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

σ_h = tegangan horisontal atau lateral dari tanah di sekitar tiang
(kN/m²)

σ_v = tegangan vertikal akibat berat tanah (kN/m²)

Pada persamaan (2.5), tegangan horisontal σ_h sama dengan tegangan normal σ_n yang bekerja tegak lurus dengan sisi tiang. Dengan demikian notasi baru untuk koefisien tekanan tanah lateral (k) diganti menjadi koefisien tekanan tanah lateral pada sisi tiang (k_d), maka persamaan (2.5) menjadi :

$$\sigma_h = \sigma_n = k_d \cdot p_o \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan $p_o = \sum z \cdot \gamma$ = tekanan overburden rata - rata disepanjang tiang (kN/m^2), z = kedalaman dari muka tanah (m). Dari kedua persamaan (2.4) dan (2.6), maka diperoleh persamaan (2.7) :

$$\tau_d = \frac{Q_s}{A_s} = c_d + k_d \cdot p_o \cdot \text{tg } \varphi_d \dots \dots \dots (2.7)$$

Jadi persamaan untuk tahanan gesek ultimit tiang (Q_s) adalah :

$$Q_s = \sum A_s \cdot [c_d + k_d \cdot p_o \cdot \text{tg } \varphi_d] \dots \dots \dots (2.8)$$

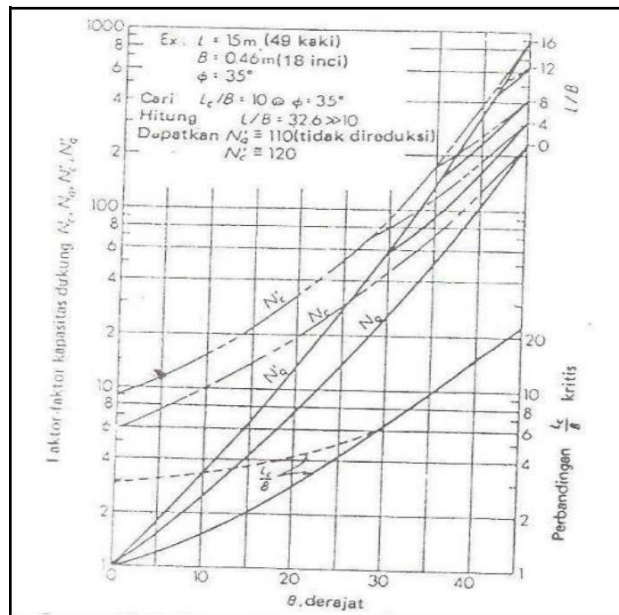
Dimana :

A_s = luas selimut tiang (m^2) = keliling penampang tiang dikalikan dengan panjang tiang.
 $\varphi_d = \delta$ = sudut gesek antara dinding dengan tanah ($^\circ$)

Dengan demikian dapat diperoleh persamaan umum untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal, yaitu :

$$Q_u = A_b[c_b.N_c + p_b.N_q + 0,5.D.\gamma.N_\gamma] + \sum A_s[c_d + k_d.p_o.\text{tg}\varphi_d] - W_p \dots \dots \dots (2.9)$$

Untuk nilai N_c , N_q , N_γ disini menggunakan grafik berdasarkan metode Meyerhof (1976) (gambar 2.7)



Gambar 2.6 Faktor Kapasitas Dukung Tanah Meyerhof (1976)

Nilai k_d untuk tiang pada tanah granuler diperoleh dari Mansur dan Hunter (1970) (Tabel 2.1).

Bahan Tiang	Kd
Tiang baja H	1,4 - 1,9
Tiang pipa baja	1,0 - 1,3
Tiang beton pracetak	1,45 - 1,6
uji tarik tiang (8 tiang) untuk seluruh tipe tiang	0,4 - 0,9

Tabel 2.1 Nilai k_d untuk Tanah Granuler (Mansur dan Hunter, 1970)

Aas (1966) mengusulkan nilai-nilai δ yang dapat digunakan dalam menghitung tahanan gesek seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2. Pada tabel ini bahan tiang yang terbuat dari beton dan kayu, nilai δ ditentukan

dari hubungan sudut gesek dari hubungan sudut gesek dalam efektif tanah (ϕ').

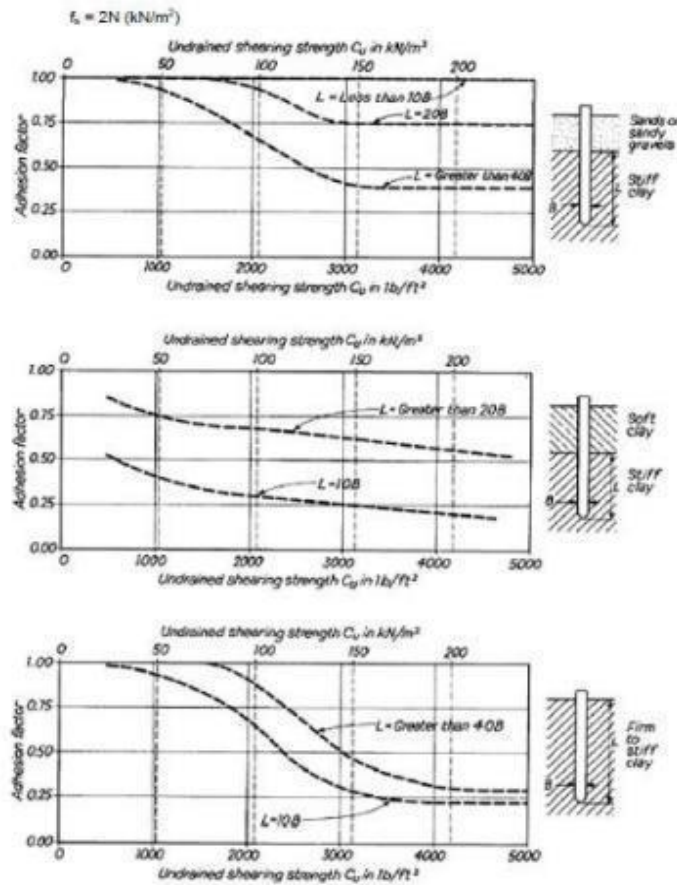
Bahan Tiang	$\delta = \phi'$
Baja	20°
Beton	0,75 ϕ'
Kayu	0,66 ϕ'

Tabel 2.2 Sudut Gesek antara Dinding Tiang dan Tanah Granuler (δ), Aas (1966).

Nilai adhesi ultimit untuk tiang pancang dalam tanah lempung berdasarkan Tomlinson,1963 (tabel 2.3) dan dapat juga dicari berdasarkan Tomlinson,1977 (gambar 2.8).

Bahan Tiang	Kohesi C_u (k/ft ²)	Adhesi Ultimit C_d (k/ft ²)
Beton dan Kayu	0 - 0,75	0 - 0,70
	0,75 - 1,50	0,70 - 1,00
	1,50 - 3,00	1,00 - 1,30
Baja	0 - 0,75	0 - 0,70
	0,75 - 1,50	0,70 - 1,00
	1,50 - 3,00	1,00 - 1,20

Tabel 2.3 Adhesi Ultimit c_d (Tomlinson, 1997)



Gambar 2.7 Faktor Adhesi antara tiang dengan tanah (α)

2. Kapasitas Daya Dukung Pondasi dari Data *Standart Penetration Test* (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (ϕ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).

Harga N yang diperoleh dari SPT tersebut diperlukan untuk memperhitungkan daya dukung tanah. Daya dukung tanah tergantung pada kuat geser tanah. Hipotesis pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh Coulomb yang dinyatakan dengan:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

τ = kekuatan geser tanah (kg/m^2)

c = kohesi tanah (kg/m^2)

σ = tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/m^2)

φ = sudut geser tanah ($^\circ$)

Untuk mendapatkan sudut geser tanah dari tanah tidak kohesif (pasir) biasanya dapat dipergunakan rumus Dunham (1962) sebagai berikut:

1. Tanah berpasir berbentuk bulat dengan gradasi seragam, atau butiran pasir bersegi – segi dengan gradasi tidak seragam, mempunyai sudut geser sebesar :

$$\varphi = 12 + 15 \dots\dots\dots (2.11)$$

2. Butiran pasir bersegi dengan gradasi seragam, maka sudut gesernya adalah :

$$\varphi = 0,3N + 27 \dots\dots\dots (2.12)$$

Angka penetrasi sangat berguna sebagai pedoman dalam eksplorasi tanah dan untuk memperkirakan kondisi lapisan tanah. Hubungan antara

kepadatan relatif, sudut geser tanah dan nilai N dari pasir dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Angka Penetrasi Standart N	Kepadatan Relatif Dr (%)	Sudut Geser Dalam, ϕ (°)
0 – 5	0 – 5	26 – 30
5 – 10	5 – 30	28 – 35
10 – 30	30 – 60	35 – 42
30 – 50	60 – 65	38 – 48

Tabel 2.4 Hubungan Kepadatan Relatif, Sudut Geser Tanah dan Nilai N (Das, 1985)

Pada tanah tidak kohesif daya dukung sebanding dengan berat isi tanah, hal ini berarti bahwa tinggi muka air tanah banyak mempengaruhi daya dukung pasir. Tanah dibawah air mempunyai berat isi efektif yang kira-kira setengah berat isi tanah diatas muka air. Tanah dapat dikatakan mempunyai daya dukung yang baik, dapat diliat dari ketentuan berikut :

1. Lapisan kohesif mempunyai nilai SPT, $N > 35$.
2. Lapisan kohesif mempunyai harga kuat tekan (q_u) $3 - 4 \text{ kg/m}^2$, atau harga SPT, $N > 15$.

Hasil percobaan pada SPT ini hanya merupakan perkiraan kasar, jadi bukan merupakan nilai yang teliti. Dalam pelaksanaan umumnya hasil sondir lebih dapat dipercaya dari pada percobaan SPT. Perlu menjadi

catatan bagi kita bahwa jumlah pukulan untuk 15 cm pertama yang dinilai N1 tidak dihitung karena permukaan tanah dianggap sudah terganggu. Untuk perencanaan kapasitas daya dukung tanah dari data SPT, daya dukung tiang pancang dapat dihitung berdasarkan jenis tanah dan berdasarkan rumus empiris dari metode Meyerhof.

1. Daya dukung tiang pancang dari jenis tanah dapat di bagi menjadi dua yaitu berdasarkan tanah non kohesif dan tanah kohesif.

a. Tanah Non Kohesif

Daya dukung ujung pondasi (Q_b) pada tanah non kohesif, diperoleh dari persamaan :

$$Q_b = 40 \times N - SPT \times \frac{L_b}{D} \times A_p < 400 \times N - SPT \times A_p \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Tahanan geser selimut tiang pancang (Q_s) pada tanah non-kohesif diperoleh dari persamaan :

$$Q_s = 2 \times N-SPT \times p \times L_i \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

N-SPT = N yang telah dikoreksi,

L_b = panjang tiang (m)

D = diameter tiang (m)

L_i = panjang lapisan tanah (m)

p = keliling tiang (m)

A_p = luas penampang tiang (m^2)

b. Tanah Kohesif

Daya dukung ujung pondasi (Q_p) pada tanah kohesif diperoleh dari persamaan :

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \dots\dots\dots (2.15)$$

Tahanan geser selimut tiang pancang (Q_s) pada tanah kohesif diperoleh dari persamaan :

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times L_i \dots\dots\dots (2.16)$$

α = faktor adhesi antara tanah dan tiang

L_i = panjang lapisan tanah (m)

P = keliling tiang (m)

A_p = luas penampang tiang (m^2)

C_u = kohesi *undrained* (kN/m^2)
= $2/3 \times N - SPT \times 10$

2. Daya dukung pondasi berdasarkan rumus empiris menggunakan metode Meyerhof.

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots (2.17)$$

a) Tiang Beton

$$Q_u = 40 \times N_b \times A_b + \frac{1}{5} \times \bar{N} \times A_s \dots\dots\dots (2.18)$$

b) Tiang Baja

$$Q_u = 40 \times N_b \times A_b + \frac{1}{10} \times \bar{N} \times A \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

Q_u = kapasitas ultimit tiang (ton)

Q_b = tahanan ujung tiang (ton)

Q_s = tahanan gesek tiang (ton)

A_b = luas dasar tiang (m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

N_b = nilai N dari hasil uji SPT pada tanah sekitar dasar

tiang

= nilai rata – rata dari 8d di atas dasar tiang sampai 4d

di bawah tiang

= nilai N rata – rata uji SPT disepanjang tiang

2.7.2. Kapasitas Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang (*Pile Group*)

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali kita dapatkan tiang pancang yang berdiri sendiri (*Single Pile*), akan tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok (*Pile Group*) (Sardjono, 1988).

